



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Matti Tapani Kupias

# VESIVOIMALAITOKSEN KAAPELOIN- NIN MASSALISTAT JA KAAPELIN MI- TOITUS

Tekniikka ja liikenne

2015

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Matti Tapani Kupias
Opinnäytetyön nimi	Vesivoimalaitoksen kaapeloinnin massalistat ja kaapelin mitoitus
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	45 + 1 liite
Ohjaaja	Timo Männistö

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, millaisella työkalulla saataisiin muodostettua VEO Oy:n vesivoimalaitosten kaapelimassalistat tehokkaasti. Ratkaisuksi päätettiin muokata sähköasemapuolelle tehtyä Excel-laskentatyökalua, loppujenlopuksi työkalu tehtiin kuitenkin täysin uusiksi.

Työssä kerrotaan yleisesti kaapelin mitoituksesta SFS 6000-standardin pohjalta, sekä kaapelin mitoitus esimerkki. Mitoitusta tarvitaan kaapelimassalistojen kaapeleiden muodostamisessa.

Raportissa selitetään miten kaapelimassalistat muodostetaan. Nykyinen käytäntö on tapauskohtainen ja riippuu paljon henkilöstä joka massalistat tekee, jos tehdään tarkka lista, niin lista tehdään manuaalisesti piirustuksista katsomalla kaapeli kerrallaan, joskus käytetään vanhoja projekteja malleina. Uusi käytäntö on, että myyjän tarvitsee vain syöttää eri laitteistojen väliset kaapelipituudet ja ohjelma laskee automaattisesti kaapelimassalistan oikeilla kaapeleilla.

Lopputuloksena opinnäytetyöstä saatiin uutta informaatiota siitä miten kaapelimassalistoja pitäisi käsitellä ja teoriaa kaapelin mitoituksesta, sekä sivutuotteena Excel-laskentatyökalu ja sen käyttöohje yrityksen käyttöön.

## ABSTRACT

Author	Matti Tapani Kupias
Title	Bill of Quantities and Dimensioning of Cabling at a Hydro-power Plant
Year	2015
Language	Finnish
Pages	45 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Timo Männistö

---

The goal of the thesis was to investigate, what kind of tool is needed to efficiently calculate cable quantity lists for a VEO ltd hydropower plants. The solution was to modify the Excel-tool created for the VEO substation division, eventually modifying was not enough and the tool had to be remade.

The present convention is case-specific and it depends on a person who makes the list, the accurate list is made manually, by looking from the drawing cable at a time. Sometimes old projects are used as a template.

The Excel-tool is intended for VEO ltd sales people use in Finland, Sweden and Norway. Cables for the tool were dimensioned according to the SFS 6000 standard. The most economical cable was selected to every component.

Calculations for the Excel-tool were created using VBA (Visual Basic for Applications) code. The Excel-tool has its own spreadsheet for the cable quantities of stations and generator. Tool has own spreadsheet for Finnish, Swedish and Norwegian components and their dimensioned cables. When the country is selected and calculate button is pressed the tool prints out a result spreadsheet with the right cable quantity for each cable type.

The final result of the thesis is the information of how to handle cable quantity lists, some theory of cable dimensioning and as a side product an Excel cable quantity calculation program and its operating manual which is intended for work commissioner's internal use.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	8
2	YRITYSESITTELY VEO .....	9
3	KAAPELIN MITOITUKSEN TEORIA .....	10
3.1	Mitoittaminen SFS 6000-standardin mukaan .....	10
3.1.1	Kuormitettavuus .....	11
3.1.2	Korjauskertomet .....	12
3.1.3	Asennustapa D asentaminen maahan .....	13
3.1.4	Asennustavat E, F ja G hyllyasennukset .....	18
3.2	Mitoitus taloudellisimman poikkipinnan mukaan .....	24
3.3	Suojamaadoitus .....	25
4	KAAPELIN MITOITUS .....	32
4.1	Kuormitusvirtaan perustuva laskentaesimerkki .....	32
4.2	Taloudellisen poikkipinnan laskentaesimerkki .....	33
4.3	Suojajohtimen laskenta .....	35
5	NYKYINEN TOIMINTAMALLI .....	37
6	UUSI TOIMINTAMALLI .....	38
6.1	Massalistojen vertailu .....	38
6.2	Excel-laskentatyökalu .....	38
7	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET .....	45
	LIITE	

## TAULUKKO- JA KUVALUETTELO

<b>Taulukko 1.</b> Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat, SFS 600- taulukko 52.1./2, 220/.....	11
<b>Taulukko 2.</b> Referenssiasennustavat D, E, F ja G, SFS 600-taulukko B 52.1. /2, 244/.....	13
<b>Taulukko 3.</b> Yksittäisen piirin kuormitettavuus PVC-eristeellä, SFS 600-taulukko B 52.2. /2, 245/.....	14
<b>Taulukko 4.</b> Yksittäisen piirin kuormitettavuus PEX- tai EPR-eristeellä, SFS 600-taulukko B 52.3 /2, 246/.....	15
<b>Taulukko 5.</b> Ympäröivän maan lämpötilan korjauskertoimet /2, 252/.....	16
<b>Taulukko 6.</b> Ympäröivän maan lämpöresistiivisyyden korjauskertoimet /2, 252/. .....	16
<b>Taulukko 7.</b> Useamman kuin yhden monijohdinkaapelin korjauskertoimet /2, 254/.....	17
<b>Taulukko 8.</b> Korjauskertoimet kaapeleille jotka on asennettu maassa oleviin putkiin /2, 254/.....	17
<b>Taulukko 9.</b> Asennussyvyydestä johtuva korjauskerroin /4/.....	18
<b>Taulukko 10.</b> Suojaustavasta johtuva korjauskerroin /4/.....	18
<b>Taulukko 11.</b> Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PVC- eristeellä kuparijohtimilla, johtimen lämpötila 70 °C, SFS 600-taulukko B.52.4 /2, 247/.....	19
<b>Taulukko 12.</b> Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PVC- eristeellä alumiinijohtimilla, johtimen lämpötila 70 °C, SFS 600-taulukko B.52.5 /2, 248/.....	20
<b>Taulukko 13.</b> Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PEX- tai EPR-eristeisillä kuparijohtimilla, johtimen lämpötila 90 °C, SFS 600-taulukko B52.6 /2, 248/.....	21
<b>Taulukko 14.</b> Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PEX- tai EPR-eristeisillä alumiinijohtimilla, johtimen lämpötila 90 °C, SFS 600-taulukko B.52.7 /2, 248/.....	22
<b>Taulukko 15.</b> Ilman lämpötilan korjauskertoimet /2, 252/.....	23
<b>Taulukko 16.</b> Korjauskertoimet ryhmille joissa useita kaapeleita /2, 253/.....	24

<b>Taulukko 17.</b> Suurimmat sallitut poiskytkentäajat /2, 93/.....	26
<b>Taulukko 18.</b> Suojajohtimen minimipoikkipinnat /2, 305/.....	26
<b>Taulukko 19.</b> Kertoimen $k_1$ arvot äärijohtimille /2, 134/.....	27
<b>Taulukko 20.</b> Kertoimen $k_2$ arvot eristetyille erillisille suojajohtimille /2, 314/.	28
<b>Taulukko 21.</b> Kertoimen $k_2$ arvot eristämättömille suojajohtimille /2, 314/.....	28
<b>Taulukko 22.</b> Kertoimen $k_2$ arvot eristämättömille suojajohtimille, jotka ovat kaapelin johtimia tai niputettu yhteen muiden kaapelien tai johtimien kanssa /2, 315/.....	29
<b>Taulukko 23.</b> Kertoimen $k_2$ arvot kun suojajohtimena toimii kaapelin metallinen rakennekerros /2, 315/.....	29
<b>Taulukko 24.</b> Kertoimen $k_2$ arvot eristämättömille johtimille, kun johtimen kuumeneminen ei voi vahingoittaa lähiympäristön materiaaleja /2/.....	30
<b>Taulukko 25.</b> Kertoimen $k$ parametrien arvot eri materiaaleilla /2, 313/.....	31
<b>Taulukko 26.</b> Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisvirroilla /2/.....	32
<b>Taulukko 27.</b> Eri maiden kaapelityypit.....	39
 <b>Kuva 1.</b> Komponentit välilehti .....	40
<b>Kuva 2.</b> Laitoksen kaapelipituuksien syöttö.....	41
<b>Kuva 3.</b> Generaattorien kaapelipituuksien syöttö.....	42
<b>Kuva 4.</b> Laskenta Excel-välilehti .....	43
<b>Kuva 5.</b> Tulokset Excel-näkymä .....	43

**LYHENTEET**

PVC = Polyvinyl Chloride = Polyvinyylikloridi

PEX = Cross-linked polyethylene = Ristisilloitettu Polyeteeni

EPR = Ethylene Propylene Rubber = Etyleeni Propeenin Kumi

VBA = Visual Basic for Applications

A = ampeeri

V = Voltti

VA = Volttiampeeri

$\Omega$  = Ohmi

Al = alumiini

Cu = kupari

mm = millimetri

K m/W = Kelvin metri/Watti

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin VEO Oy:n vesivoimalaitosyksikölle. Työn aiheena oli vesivoimalaitoksen kaapeleiden massalistasaus ja kaapelin mitoitus. Työn tarkoituksena oli tutkia minkälaisella työkalulla, kaapeleiden massalistat voitaisiin tehdä helpoimmin. Uuden työkalun on tarkoitus palvella Suomen, Ruotsin ja Norjan vesivoimalaitosprojektien kaapeleiden massalistojen tekoa.

Tarkkojen kaapelimassalistojen laadinta on tärkeä osa tulevan projektin kustannuslaskentaa. Mikäli kaapelimassalistat eivät vastaa todellisuutta, eivät alihankkijoiden antamat tiedot kaapeleiden ja asennuksen hinnoista pidä paikkaansa. Nykytilanteessa kaapelimassalistojen laadinta on hyvin tapauskohtaista ja riippuu paljon henkilöstä, toiset tekevät laskelmat tarkalleen oikein, toiset käyttävät vanhan projektin massalistoja malleina ja kiiretapauksissa voidaan mennä oman kokemuksen perusteella.

Tarkoituksena oli rakentaa Excel-työkalu myynnin avuksi mihin tarvitsisi vain laittaa oikeat metrimäärät eri komponenttien välille ja täten nopeuttaa tarkkojen kaapelimassalistojen laatimista. Tällöin myös kaapeleiden ja niiden asennuksen kustannusarviot pitäisivät paremmin paikkansa.

Työkaluun tarvittavat kaapelit mitoitettiin SFS 6000-standardin mukaisesti. Työssä käydään läpi kaapelinmitoitusta vesivoimalaitosten näkökulmasta, sekä Excel-työkalun toimintaperiaate.



## **2 YRITYSESITTELY VEO**

Vaasa Engineering Oy on perustettu vuonna 1989. Vaasa Engineering Oy, Vaasa Kojeistot Oy, Vaasa Service Oy ja Vaasa Engineering Magnetointi Oy yhdistyivät vuonna 2012 jonka jälkeen yritystä on kutsuttu VEO Oy:ksi. Yrityksen pääkonttori ja tuotantotilat ovat Vaasassa. VEO Oy:llä on konttoreita myös Seinäjoella, Rovaniemellä ja Paimiossa, sekä tytäryhtiöt Ruotsissa, Norjassa ja Venäjällä. Yritys työllisti vuonna 2013 noin 400 henkilöä ja sen liikevaihto oli noin 63 miljoonaa euroa /1/.

VEO Oy tarjoaa automaatio- ja sähköistysratkaisuja vesivoimalaitoksille, tuuli-voimalaitoksille, öljy- ja kaasulaitoksille, laivoihin, teollisuuteen ja sähkön jakeiluun. VEO Oy toimittaa kokonaisprojekteja tai niiden osia sisältäen suunnittelun, hankinnat, projektijohtamisen, asennukset, käyttöönoton ja koulutuksen. Toimintaan kuuluvat myös laitosten modernisointi, huolto ja kojeistovalmistus /1/.

### 3 KAAPELIN MITOITUKSEN TEORIA

Kaapeleiden mitoitus on tärkeä osa mitä tahansa sähköistys projektia. Oikeaoppisella mitoituksella valitut kaapelit täyttävät kaikki vaaditut ehdot, eivätkä ole tarpeettoman suuria poikkipinnaltaan. Kaapeleiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös se, että kaapelit ovat taloudellisesti oikein mitoitettuja.

Kaapelinmitoitus jakautuu kolmeen osaan

1. mitoittaminen SFS 6000-standardin mukaan
2. mitoittaminen taloudellisimman poikkipinnan mukaan
3. suojajohtimen mitoittaminen.

#### 3.1 Mitoittaminen SFS 6000-standardin mukaan

SFS 6000-sähköturvallisuusstandardi määrittelee ehdot sähköjohtimien ja niiden poikkipintojen mitoittamiseen. Johtimien poikkipinnat määritetään seuraavien tekijöiden perusteella:

- a) suurin sallittu lämpötila
- b) sallittu jännitteen alenema
- c) oikosulku- ja maasulkuvirtojen todennäköisesti aiheuttamat mekaaniset rasitukset
- d) vikavirtojen suojauksen toiminnan kannalta suurin sallittu impedanssi
- e) asennustapa /2/.

Lisäksi tulee ottaa huomioon taloudellisuus, aina ei ole taloudellisesti kannattavaa käyttää pienintä mahdollista kaapelia /3/.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin ainoastaan niihin asennustapoihin joita käytetään vesivoimalaitoksilla.

### 3.1.1 Kuormitettavuus

Kaapelin kuormitusvirran tulee olla sellainen, että taulukon 1 mukaiset eristysmateriaalin lämpötilan raja-arvot eivät ylity, mikäli lämpötila ylittyy, kaapelin kestävyys heikkenee merkittävästi. /2, 220/.

**Taulukko 1.** Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat, SFS 600-  
taulukko 52.1./2, 220/.

Eristeen laji	Lämpötilan raja-arvo °C
PVC	70 johtimessa
PEX ja EPR	90 johtimessa
Mineraali (paljas, kosketeltavissa tai PVC)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa)	105 vaipassa

Asennusolosuhteet vaikuttavat merkittävästi johdon lämpenemiseen. Lämpenemiseen vaikuttavat ympäristön lämpötila, johtoa ympäröivän aineen lämmönjohtavuus, johdon asennustapa sekä muut lähellä olevat lämmönlähteet /3/. Tärkeimmät johdinta lämmittävät tekijät on kuitenkin kuormitus- ja oikosulkuvirrat.

SFS 6000-standardin mukaan, ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen on täytettävä yhtälö

$$I_B \leq I_n \leq I_z, \quad (1)$$

suojalaitteen ollessa sulake, täytyy sen myös täyttää yhtälö

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (2)$$

jossa  $I_B$  = piirin suunniteltu virta,  $I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus,  $I_n$  = suojalaitteen mitoitusvirta ja  $I_2$  = virta joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. /2, 130/.

Johtimen jatkuva kuormitettavuus  $I_z$  riippuu peruskuormitustaulukon arvoista verrattuna asennusolosuhteisiin,  $I_z$  saadaan alla olevalla kaavalla

$$I_z = \frac{I_t}{c_1 * c_2 * c_3} \quad (3)$$

missä  $I_t$  = taulukossa esitetty kuormitettavuus yhdelle virtapiirille standardin mukaisissa asennusolosuhteissa ja  $C_1, C_2, C_3$  jne. ovat korjauskertoimia, joilla otetaan huomioon asennusolosuhteet. /2, 257/.

Johtimien minimipoikkipinta saadaan aina taulukosta 1 löytyvän eristeaineelle sallitun suurimman sallitun lämpötilan mukaan, erilaiset korjauskertoimet suurentavat tai pienentävät tätä poikkipinta-alaa. Kuormitettavuus on siis se virta, jolla johdin ei lämpene liikaa niissä olosuhteissa, joihin se on asennettu /3/.

Johtoa lämmittävä teho voidaan laskea kaavalla

$$P = I^2 * R_j \quad (4)$$

ja johtimen resistanssi kaavalla

$$R_j = \frac{l * \rho}{A} \quad (5)$$

näistä saadaan johtoa lämmittävä teho pituutta kohti

$$\frac{P}{l} = \frac{I^2 * \rho}{A}. \quad (6)$$

Kaavoissa  $P$  = kuorman teho,  $l$  = johtimen kokonaispituus,  $\rho$  = johtimen resistiivisyys ja  $A$  = johdin poikkipinta.

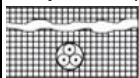



### 3.1.2 Korjauskertoimet

Kuormitettavuutta laskettaessa ensimmäisenä tulee ottaa huomioon kaapelin asennustapa, vesivoimalaitosten tapauksessa asennustapa on yleisimmin taulukon 2 mukaisesti asennustapa D asentaminen maahan, asennustapa E monijohdinkaapeli vapaasti ilmassa, asennustapa F yksijohdinkaapelit koskettavat toisiaan vapaasti ilmassa tai asennustapa G yksijohdinkaapelit vapaasti ilmassa erillään toisistaan. /2/.

SFS 6000-standardissa puhutaan ilma-asennustavoista, mutta käytännössä tarkoitetaan kaapeleiden asentamista kaapelihyllyille tai vastaaville.

Taulukon 2 sarakkeista 3–6 nähdään mitä standardin taulukoita täytyy ottaa huomioon eri asennustavoilla.

**Taulukko 2.** Referenssiasennustavat D, E, F ja G, SFS 600-tilukko B 52.1. /2, 244/.

Referenssiasennustapa		Taulukko ja sarake			
		Yksittäisen piirin kuormitettavuus		Lämpötilan korjauskerroin	Ryhmästä johtuva korjauskerroin
1	2	PVC-eristeinen	PEX/EPR- eristeinen		
Monijohdinkaapelit maassa 	D	B.52.2 sarake 8	B.52.3 sarake 5	B.52.15	B.52.18 ja B.52.19
Monijohdinkaapeli vapaasti ilmassa. Etäisyys seinään vähintään 0,3 kertaa kaapelin halkaisija 	E	Kupari B.52.4 Alumiini B.52.5	Kupari B.52.6 Alumiini B.52.7	B.52.14	B.52.17
Yksijohdinkaapelit koskettavat toisiaan vapaasti ilmassa. Etäisyys seinään vähintään yhden kaapelin halkaisijan verran 	F	Kupari B.52.4 Alumiini B.52.5	Kupari B.52.6 Alumiini B.52.7	B.52.14	B.52.17
Yksijohdinkaapelit vapaasti ilmassa erillään toisistaan 	G	Kupari B.52.4 Alumiini B.52.5	Kupari B.52.6 Alumiini B.52.7	B.52.14	-

### 3.1.3 Asennustapa D asentaminen maahan

Kun asennustapa on selvitetty ja tiedetään kuorman mitoitusvirta pystytään taulukosta 3 valitsemaan oikea poikkipinta-ala PVC-eristeiselle kaapelille ja taulukosta 4 PEX- tai EPR-eristeiselle kaapelille. Mikäli asennusolosuhteet ovat ideaalit, eli maan lämpötila 15 °C ja resistiivisyys 1,0 K m/W voidaan käyttää suoraan tätä kuormitettavuuden arvoa, muissa tapauksissa täytyy käyttää taulukoiden 5 ja 6 mukaisia korjauskertoimia.

**Taulukko 3.** Yksittäisen piirin kuormitettavuus PVC-eristeellä, SFS 600-tilukko  
B 52.2. /2, 245/.

	Taulukon B.52.1 mukainen referanssiasennustapa						
	A		B		C		D
Johtimen nimellinen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Kolme kuormitettua johdinta	Kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormite ttua johdinta	Kaksi kuormite ttua johdinta	Kolme kuormite ttua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		-		317		370
185	236		-		361		420
240	278		-		427		480
300	316		-		492		550
Alumiini							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		-		240		280
185	187		-		274		330
240	219		-		323		375
300	257		-		372		430

**Taulukko 4.** Yksittäisen piirin kuormitettavuus PEX- tai EPR-eristeellä, SFS 600-  
taulukko B 52.3 /2, 246/.

Nimellinen johtimen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa			
	A	B	C	D
1	2	3	4	5
<b>Kupari</b>				
1,5	17	20	23	26
2,5	23	27	31	35
4	31	36	42	46
6	39	45	52	57
10	53	62	71	77
16	70	83	100	100
25	92	109	124	130
35	113	133	153	160
50	135	160	186	190
70	170	202	238	240
95	205	242	289	285
120	236	278	335	325
150	269	-	386	370
185	306	-	441	420
240	360	-	520	480
300	411	-	599	550
<b>Alumiini</b>				
16	57	66	79	79
25	73	87	94	100
35	90	107	116	125
50	108	129	141	150
70	136	162	181	185
95	163	195	219	220
120	187	224	255	255
150	214	-	294	280
185	242	-	336	330
240	283	-	397	375
300	325	-	458	430

Maan lämpötilan laskiessa alle 15 °C, kaapelia voidaan kuormittaa yli taulukoidun arvon, jos lämpötila nousee yli 15 °C, kaapelia voidaan kuormittaa alle taulukoidun arvon. Korjauskertoimet eri lämpötiloille löytyvät taulukosta 5.

**Taulukko 5.** Ympäröivän maan lämpötilan korjauskertoimet /2, 252/.

Maan lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
0	1,13	1,1
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1	1
20	0,95	0,96
25	0,9	0,93
30	0,85	0,89

Maan lämpöresistiivisyyden ollessa muu kuin 1,0 K m/W käytetään taulukon 6 mukaisia korjauskertoimia. Eri maatyypeille on määritetty ei lämpöresistiivisyyden arvot, jotka ovat

- kuiva hiekka (kosteus 0 %) 3,0 K m/W
- kuiva sora ja savi 1,5 K m/W
- puolikuiva sora, suomuta ja hiekka (kosteus 10 %) 1,2 K m/W
- puolikuiva savi ja kostea sora 1,0 K m/W
- kostea savi ja hiekka (kosteus 25 %) 0,7 K m/W /4/.



**Taulukko 6.** Ympäröivän maan lämpöresistiivisyyden korjauskertoimet /2, 252/.

Lämpöresistiivisyys, K m/W	0,7	1	1,2	1,5	2	2,5	3
Korjauskerroin	1,1	1	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

Vierekkäisten kaapelien lukumäärän ollessa 2 tai enemmän tulee ottaa huomioon taulukon 7 korjauskertoimet. Tähän vaikuttavat kaapelien välinen etäisyys, sekä vierekkäisten kaapelien lukumäärä. Näin tehdään koska vierekkäiset kaapelit lämmittävät toisiaan ja tästä johtuen niiden kuormitettavuus pienenee. Kaapelien välisen etäisyyden ollessa enemmän kuin 250 mm, katsotaan että ne eivät ole enää vierekkäisiä kaapeleita.




**Taulukko 7.** Useamman kuin yhden monijohdinkaapelin korjauskertoimet /2, 254/.

Kaapelien välinen etäisyys a /mm	Vierekkäisten kolmijohdinkaapelien tai vierekkäisten yksijohdinkaapeliryhmien lukumäärä						
	2	3	4	5	6	8	10
	Korjauskerroin						
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,5	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,6	0,56	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64
Monijohdinkaapelit 							
Yksijohdinkaapelit 							

Kaapeleiden ollessa asennettuna maassa oleviin vierekkäisiin putkiin, käytetään taulukon 8 mukaisia korjauskertoimia, koska aivan kuten vierekkäisissä kaapeleissa, myös vierekkäiset putket lämmittävät toisiaan. Vierekkäisten putkien välimatkan ollessa enemmän kuin 250 mm, katsotaan että ne eivät enää ole vierekkäisiä putkia.

**Taulukko 8.** Korjauskertoimet kaapeleille jotka on asennettu maassa oleviin putkiin /2, 254/.

Putkien välinen etäisyys a /mm	Vierekkäisten putkien lukumäärä							
	1	2	3	4	5	6	8	10
	Korjauskerroin							
0	0,8	0,75	0,65	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5
70		0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,55	0,55
250		0,75	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,65
								

Kaapeleiden suositeltu asennussyvyys on 70 cm, mikäli kaapeli asennetaan syvemmälle, käytetään taulukon 9 mukaisia korjauskertoimia. Kaapeli pääsee jäähtymään huonommin, mitä syvemmälle se on asennettu.

**Taulukko 9.** Asennussyvyydestä johtuva korjauskerroin /4/.

Kaapeli	Asennussyvyys, m				
	0,50...0,70	0,71...0,90	0,91...1,10	1,11...1,30	1,31...1,50
1 kV	1	0,97	0,95	0,93	0,92
10...20 kV	1	0,99	0,98	0,96	0,95

Usein maakaapelit suojataan mekaaniselta rasitukselta eri tavoin, kuten esimerkiksi betonilaatoilla ja hiekalla. Betoni- tai tiililaatta yli 10 cm kaapelin yläpuolella hyvin tiivistetyssä hiekkamaassa, katsotaan sellaiseksi mikä ei tarvitse korjausker-toimia. Taulukosta 10 näemme korjauskertoimet eri suojaustavoille, kuten esi-merkiksi betonikourulle kaapelin päällä, kourun ja kaapelin välissä tiivis hiekka /4/.






**Taulukko 10.** Suojaustavasta johtuva korjauskerroin /4/.

Suojaustapa	Korjauskerroin
Betoni- tai tiililaatta yli 10 cm kaapelin yläpuolella hyvin tiivistetyssä hiekkamaassa	1
Tiilikivet joka puolella kaapelin suojana, välit täytetty tiiviisti hiekalla	0,9
Betonikouru kaapelin päällä, kourun ja kaapelin välissä tiivis hiekka	0,9
Betoni- tai muovikouru kaapelin päällä, kaapelin ja kourun välissä löyhä hiekkatäyte	0,8






### 3.1.4 Asennustavat E, F ja G hyllyasennukset

Ilman lämpötilan ollessa 25 °C ja asennuksessa ei ole vierekkäisiä kaapeleita, voi-  
daan käyttää taulukoiden 11–14 mukaisia johtimen poikkipinta-aloja. Taulukossa  
11 johtimen poikkipinta-alat PVC-eristeisille kuparijohtimille, taulukossa 12  
PVC-eristeisille alumiinijohtimille, taulukossa 13 PEX- tai EPR-eristeisille kupa-  
rijohtimille ja taulukossa 14 PEX- tai EPR-eristeisille alumiinijohtimille. Asen-  
nusolosuhteiden ollessa erilaiset tulee käyttää korjauskertoimia.






**Taulukko 11.** Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PVC-eristeellä kuparijohtimilla, johtimen lämpötila 70 °C, SFS 600-tilukko B.52.4 /2, 247/.

Johtimen nimellien poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.2 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
				Vaakatasossa	Pystytasossa
					
	E	F	F	G	G
1	2	3	4	5	6
1,5	19	-	-	-	-
2,5	26	-	-	-	-
4	36	-	-	-	-
6	45	-	-	-	-
10	63	-	-	-	-
16	85	-	-	-	-
25	107	117	121	155	138
35	134	145	152	192	172
50	162	177	184	232	209
70	208	229	238	298	269
95	252	280	291	361	330
120	292	326	340	420	384
150	338	377	395	483	444
185	386	434	453	552	509
240	456	514	537	652	603
300	527	595	622	751	698
400	-	695	730	903	843
500	-	794	836	1041	975
630	-	906	959	1206	1134






**Taulukko 12.** Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PVC-eristeellä alumiinijohtimilla, johtimen lämpötila 70 °C, SFS 600-taulukko B.52.5 /2, 248/.

Johtimen nimellien poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.2 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
				Vaakatasossa	Pystytasossa
					
1	2	3	4	5	6
16	65	-	-	-	-
25	83	89	92	119	105
35	102	111	116	147	131
50	124	136	141	179	161
70	159	176	183	230	208
95	194	215	225	281	255
120	225	251	262	326	299
150	260	290	304	377	347
185	297	334	350	431	399
240	350	397	415	511	474
300	404	460	482	590	550
400	-	558	585	711	667
500	-	647	678	821	774
630	-	754	791	954	903

**Taulukko 13.** Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PEX- tai EPR-eristeisillä kuparijohtimilla, johtimen lämpötila 90 °C, SFS 600-tilukko B52.6 /2, 248/.

Johtimen nimellien poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
				Vaakatasossa	Pystytasossa
					
	E	F	F	G	G
1	2	3	4	5	6
1,5	24	-	-	-	-
2,5	33	-	-	-	-
4	44	-	-	-	-
6	56	-	-	-	-
10	78	-	-	-	-
16	104	-	-	-	-
25	132	140	147	189	167
35	164	176	183	235	209
50	200	215	225	286	256
70	256	279	290	367	331
95	310	341	356	447	405
120	370	398	416	520	472
150	415	462	483	600	548
185	474	530	554	687	629
240	560	631	659	812	747
300	646	731	765	938	866
400	-	856	902	1128	1048
500	-	984	1038	1303	1216
630	-	1132	1197	1512	1416

**Taulukko 14.** Asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PEX- tai EPR-eristeisillä alumiinijohtimilla, johtimen lämpötila 90 °C, SFS 600-tilukko B.52.7 /2, 248/.

Johtimen nimellien poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
				Vaakatasossa	Pystytasossa
					
1	2	3	4	5	6
16	80	-	-	-	-
25	101	107	111	144	127
35	125	134	140	179	159
50	152	165	172	218	195
70	194	214	224	282	254
95	236	263	275	345	312
120	274	308	320	402	365
150	316	357	372	466	424
185	361	411	430	536	489
240	425	490	512	635	583
300	490	569	594	736	678
400	-	689	722	890	824
500	-	800	838	1030	958
630	-	935	980	1200	1120

Ilman lämpötilan ollessa alle 25 °C kaapelia voidaan kuormittaa taulukoitua arvoa enemmän, lämpötilan ollessa yli 25 °C kaapelia voidaan kuormittaa taulukoitua arvoa vähemmän. Taulukosta 15 löytyvät korjauskertoimet eri lämpötiloille ja eri eristeisille kaapeleille.

**Taulukko 15.** Ilman lämpötilan korjauskertoimet /2, 252/.

Ympäristön lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen ja sallitun lämpötilan mukaan	
	70 °C PVC	90 °C PEX, EPR PVC 90 °C
10	1,15	1,11
15	1,1	1,07
20	1,05	1,04
25	1	1
30	0,94	0,96
35	0,88	0,92
40	0,82	0,88
45	0,75	0,84
50	0,67	0,79
55	0,58	0,73
60	0,47	0,68
65	-	0,62
70	-	0,56
75	-	0,48
80	-	0,39

Kaapelien lukumäärän ollessa enemmän kuin 1, joudutaan käyttämään taulukon 16 mukaisia korjauskertoimia. Korjauskertoimiin vaikuttaa sijoitustapa, sekä kaapeleiden lukumäärä. Lämpenemän kannalta pahin vaihtoehto on, että kaapelit ovat nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä, tällöin käytetään taulukon 16 kohdan 1 korjauskertoimia. Lämpenemän kannalta paras vaihtoehto on sijoittaa kaapelit taulukon 16 kohdan 5 mukaisesti yhteen kerrokseen tikkaille, tuille tai kiinnikkeille /2/.

**Taulukko 16.** Korjauskertoimet ryhmille joissa useita kaapeleita /2, 253/.

Kohta	Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä												Käytetään kuormitettavuus taulukon kanssa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38	B.52.2...B.52.7 asennustavat A...F
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle piirille tai monijohdin kaapelille.			B.52.2...B.52.3 asennustapa C
3	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puisen alakaton pinnalle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				B.52.4...B.52.7 asennustavat E ja F
4	Yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaakatai pystysuunnassa	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78				

### 3.2 Mitoitus taloudellisimman poikkipinnan mukaan

Mitoituksella taloudellisimman poikkipinnan mukaan pyritään löytämään kaapelikoko, jonka taloudelliset kokonaiskustannukset ovat pienimmät. Johto ei saa kuitenkaan olla poikkipinta-alaltaan pienempi kuin on edellä SFS 6000-standardin mukaisesti mitoitettu /3/.

Johtimen taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- hankintakustannukset
  - kaapelin hinta
  - kaapelitien(putkitus, hylly, tms.) hinta
  - laskennallinen korko
  - käyttöikä
- käyttökustannukset
  - sähkön hinta (teho- ja energiamaksu)
  - huipun käyttöaika /a
  - kaapelin sisäinen impedanssi



- yritystoiminnan kustannukset (varastointi, hävikki, hankinta)
  - Suosituimmuus poikkipinnat.

Johtimessa kulkeva virta aiheuttaa tehohäviöitä, tästä johtuen johdin lämpenee. Häviöihin kulutettu energia joudutaan maksamaan samalla tavalla kuin muukin energia, häviöitä voidaan vähentää suurentamalla poikkipinta-alaa. Tämä kuitenkin lisää hankintakustannuksia /3/.

Vuoden häviökustannukset johtimelle voidaan laskea kaavalla

$$K_{h0} = \left(\frac{S_0}{U}\right)^2 * R * H_h, \quad (7)$$

missä  $K_{h0}$  = ensimmäisen vuoden häviökustannukset,  $S_0$  = alkuhetken näennäisteho,  $U$  = pääjännite,  $R$  = resistanssi ja  $H_h$  = häviöiden hinta /5/.

Kaapelin taloudellisin poikkipinta saadaan kun verrataan eri kaapelikokojen asennus- ja tehohäviöiden kustannuksia toisiinsa. Kaapeli jolla kokonaiskustannukset tarkasteluajanjaksolla ovat pienimmät, on kokonaistaloudellisesti kannattavin.

Yrityksen toiminnan kannalta on yleensä järkevintä käyttää vain tietynlaisen poikkipinnan omaavia kaapeleita /3/.

### 3.3 Suojamaadoitus

Suojamaadoitus johtimen poikkipinnan on täytettävä taulukon 17 ehdot syötön automaattiselle poiskytkennälle, sekä johtimen on kestävä suojalaitteen toiminta-aikana esiintyvät vikavirran aiheuttamat mekaaniset ja termiset rasitukset. Taulukossa on esitetty kytkentä ajat TN-järjestelmälle ja TT-järjestelmälle. TN-järjestelmä tarkoittaa, että järjestelmän yksi piste on kytkettynä suoraan maahan ja jännitteelle alttiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun pisteeseen. TT-järjestelmässä samoin yksi piste on yhdistetty suoraan maahan, mutta jännitteelle alttiit osat on yhdistetty galvaanisesti suoraan maahan, riippumatta jakelujärjestelmän maadoitustavasta.

**Taulukko 17.** Suurimmat sallitut poiskytkentäajat /2, 93/.

Järjestelmä	50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V		120 V < U <sub>0</sub> ≤ 230 V		230 V < U <sub>0</sub> ≤ 400 V		U <sub>0</sub> > 400 V	
	S		S		S		S	
	a.c	d.c	a.c	d.c	a.c	d.c	a.c	d.c
TN	0,8	Huom. 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Huom. 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1
Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja								
U <sub>0</sub> on nimellinen tasa- tai vaihtojännite äärijohtimesta maahan								
HUOM. 1 Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.								

Suojajohtimen poikkipinta voidaan määrittellä taulukosta 18 löytyvien kaavojen perusteella. Suojajohtimen ollessa eri materiaalia kuin äärijohtimen tarvittavat kertoimet  $k_1$  = äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen arvo, saadaan taulukosta 19 ja  $k_2$  saadaan taulukoista 20–24.

**Taulukko 18.** Suojajohtimen minimipoikkipinnat /2, 305/

Äärijohtimen poikkipinta S mm <sup>2</sup>	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm <sup>2</sup>	
	Suojajohdin on samaa materiaali kuin äärijohtimen	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtimen
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} * S$
$16 < S \leq 35$	16 <sup>a</sup>	$\frac{k_1}{k_2} * 16$
$S > 35$	$\frac{S^a}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} * \frac{S}{2}$

**Taulukko 19.** Kertoimen  $k_1$  arvot äärijohtimille /2, 134/.

Ominaisuus / olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC Kestomuovi		PVC Kestomuovi 90 °C		EPR PEX Kertamuovi	Kumi 60 °C	Mineraali	
							PVC päällystämätön	Paljas päällystetty
Johtimen poikkipinta mm <sup>2</sup>	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
Alkulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali								
Kupari	115	103	100	86	143	141	115	135-115 <sup>a</sup>
Alumiini	76	68	66	57	94	93	-	-
Kuparijohtimien tinajuotetut liitokset	115	-	-	-	-	-	-	-

**Taulukko 20.** Kertoimen  $k_2$  arvot eristetyille erillisille suojajohtimille /2, 314/.

Johdineristys	Lämpötila °C <sup>b</sup>		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle k		
70 °C kestopuovi (PVC)	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C kestopuovi (PVC)	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C kertapuovi (PEX, EPR)	30	250	176	116	64
60 °C EPR-kumi	30	200	159	105	58
85 °C EPR-kumi	30	220	166	110	60
185 °C silikonikumi	30	350	201	133	73
a Alemmat arvot ovat poikkipinnaltaan 300 mm <sup>2</sup> kestopuovi (PVC)-eristeisille johtimille. b Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.					

**Taulukko 21.** Kertoimen  $k_2$  arvot eristämättömille suojajohtimille /2, 314/.

Kaapelin päällyste	Lämpötila °C		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle k		
Kestomuovi (PVC)	30	200	159	105	58
Polyeteeni	30	150	138	91	50
CSP	30	220	166	110	60
a Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.					

**Taulukko 22.** Kertoimen  $k_2$  arvot eristämättömille suojajohtimille, jotka ovat kaapelin johtimia tai niputettu yhteen muiden kaapelien tai johtimien kanssa /2, 315/.

Johdineristys	Lämpötila °C		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle k		
70 °C kestopuovi (PVC)	30	160/140 <sup>a</sup>	115/103 <sup>a</sup>	76/68 <sup>a</sup>	42/37 <sup>a</sup>
90 °C kestopuovi (PVC)	30	160/140 <sup>a</sup>	100/86 <sup>a</sup>	66/57 <sup>a</sup>	36/31 <sup>a</sup>
90 °C kertamuovi (PEX, EPR)	30	250	143	94	52
60 °C EPR-kumi	30	200	141	93	51
85 °C EPR-kumi	30	220	134	89	48
185 °C silikonikumi	30	350	132	87	47
a Alemmat arvot ovat poikkipinnaltaan 300 mm <sup>2</sup> kestopuovi (PVC)-eristeisille johtimille.					
b Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.					

**Taulukko 23.** Kertoimen  $k_2$  arvot kun suojajohtimena toimii kaapelin metallinen rakennekerros /2, 315/.

Johdineristys	Lämpötila °C		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle k		
70 °C kestopuovi (PVC)	60	200	141	93	51
90 °C kestopuovi (PVC)	80	200	128	85	46
90 °C kertamuovi (PEX, EPR)	80	200	128	85	46
60 °C kumi	55	200	144	95	52
85 °C kumi	75	220	140	93	51
PVC:llä pinnoitettu mineraali <sup>b</sup>	70	200	135	-	-
Paljas mineraali	105	250	135	-	-
a Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.					
b Tätä arvoa käytetään myös paljaille johtimille, jos ne ovat kosketeltavissa tai koskettavat palavia materiaaleja					

**Taulukko 24.** Kertoimen  $k_2$  arvot eristämättömille johtimille, kun johtimen kuumeneminen ei voi vahingoittaa lähiympäristön materiaaleja /2/.

Asennus olosuhteet	Alkulämpötila °C	Johtimen materiaali					
		Kupari		Alumiini		Teräs	
		k arvo	Maksimi lämpötila °C	k arvo	Maksimi lämpötila °C	k arvo	Maksimi lämpötila °C
Näkyvissä ja sähkötilassa	30	228	500	125	300	82	500
Normaalit olosuhteet	30	159	200	105	200	58	200
Palovaara	30	138	150	91	150	50	150

Suojajohtimen poikkipinta saadaan myös IEC 60949-standardin mukaan, tai jos poiskytkentäaika on enintään 5 s, voidaan poikkipinta laskea kaavalla

$$S = \frac{\sqrt{I^2 * t}}{k} \quad (8)$$

jossa  $S$  = suojohtimen pinta-ala,  $I$  = suojalaitteen kautta kulkevan prospektiivisen vikavirran tehollisarvo, kun tapahtuu hyvin pieni-impedanssinen vika jota suoja-laite ei rajoita,  $t$  = suojalaitteen toiminta-aika ja  $k$  = kerroin, jonka arvo riippuu suojohtimen materiaalista, eristyksestä, muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista. Kerroin  $k$  määritellään kaavalla

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(\beta+20\text{ °C})}{\rho_{20}} \ln\left(\frac{\beta+\theta_f}{\beta+\theta_i}\right)} / 2, 306/. \quad (9)$$

Kertoimen laskemiseen tarvittavat parametrit löytyvät taulukosta 19, jossa  $Q_c$  = johdinmateriaalin volumetrinen lämpökapasiteetti ( $J/ \text{ °C mm}^3$ )  $20\text{ °C}$  lämpötilassa,  $\beta$  = resistiivisyyden lämpötilakertoimen käänteisarvo  $0\text{ °C}$  lämpötilassa ( $\text{°C}$ ),  $\rho_{20}$  = johtimen materiaalin resistiivisyys  $20\text{ °C}$  lämpötilassa ( $\Omega \text{ mm}$ ),  $\theta_i$  = johtimen alkulämpötila ( $\text{°C}$ ) ja  $\theta_f$  = johtimen loppulämpötila ( $\text{°C}$ )/2/.

**Taulukko 25.** Kertoimen k parametrien arvot eri materiaaleilla /2, 313/.

<b>Materiaali</b>	$\beta^a$ °C	$Q_c^a$ J/°C mm <sup>3</sup>	$\rho_{20}^a$ Ω mm	$\sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20^\circ\text{C})}{\rho_{20}}}$ $\frac{A(\sqrt{S})}{\text{mm}^2}$
Kupari	234,5	$3,45 * 10^{-3}$	$17,241 * 10^{-6}$	226
Alumiini	228	$2,5 * 10^{-3}$	$28,264 * 10^{-6}$	148
Teräs	202	$3,8 * 10^{-3}$	$138 * 10^{-6}$	78
a Arvot on otettu IEC 60949:stä				

## 4 KAAPELIN MITOITUS

### 4.1 Kuormitusvirtaan perustuva laskentaesimerkki

Oletetaan että kuormituksen mitoitusvirta on 100 A. Mikä on johtimen virta arvo maahan asennettuna, kun PVC-eristeinen alumiinikaapeli asennetaan kuivaan hiekkaan? Kaapeli on kiinni kahdessa muussa kaapelissa ja sen asennussyvyys on 1,2 m, muutoin asennus olosuhteet ovat normaalit. Sulakkeena käytetään gG-sulaketta.

**Taulukko 26.** Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisvirroilla /2/.

gG tyyppisen sulakkeen nimellisvirta A	Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	886

Taulukosta 26 saadaan johtimen kuormitettavuuden minimiarvoksi, käytettäessä 100 A gG-tyypin sulaketta, 110 A.



Taulukosta 3 nähdään johtimen poikkipinta-ala ilman korjauskertoimien vaikutusta. Valitaan vaadittua kuormitettavuutta seuraava suurempi poikkipinta, joka on tässä tapauksessa 35 mm<sup>2</sup> Al.

Seuraavaksi otetaan huomioon tarvittavat korjauskertoimet. Taulukoista saadaan seuraavat korjauskertoimet.

Kuivan hiekan lämpöresistiivisyys on 3,0 K m/W, sille saadaan taulukosta 6 korjauskerroin, joka on 0,63.

Kaapelin ollessa kiinni kahdessa muussa kaapelissa se lämpenee enemmän, joten tarvitaan taulukosta 7 korjauskerroin, joka on 0,69.

Asennussyvyydestä johtuvaksi korjauskertoimeksi saadaan taulukosta 9 0,93.

Näin ollen saadaan kuorman virta-arvoksi maassa kaavalla 3 laskettuna

$$I_t = \frac{110 \text{ A}}{0,63 \cdot 0,69 \cdot 0,93} = 272 \text{ A.} \quad (10)$$

Johtimen poikkipinnaksi saadaan täten taulukosta 3 150 mm<sup>2</sup> Al, joka on huomattavasti suurempi kuin ilman korjauskertoimia saatu poikkipinta.

Tästä esimerkistä huomataan kuinka tärkeää on mitoittaa kaapelit oikeiden asennus olosuhteiden mukaan.

## 4.2 Taloudellisen poikkipinnan laskentaesimerkki

Lasketaan tuleeko alumiini – vai kuparikaapeli halvemmaksi 3 vuoden laskuajalla, edellisessä esimerkkilaskussa, kun syötetään 100 kVA kuormaa 25 m kaapelilla. Huipunkäyttöajaksi oletetaan 3000 tuntia vuodessa ja sähkön hinnaksi 0,05€/kWh.

Alumiini kaapelin poikkipinnaksi saatiin 150 mm<sup>2</sup> ja kuparikaapelin poikkipinta-ala on taulukon 3 mukaan 95 mm<sup>2</sup>. Käytetään vertailukaapeleina MCMK 4 x 95/50 kuparikaapelia, sekä AMCMK 4 x 150/41 alumiinikaapelia.

Lasketaan ensiksi kuparikaapelin aiheuttama vuotuinen häviökustannus kaavalla 7. Ensimmäisenä lasketaan johtimen resistanssi kaavalla 5. Resistanssin laskemiseen tarvitaan johtimen resistiivisyys, tämä on kuparille  $0,0168 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m} / 6/$ .

Resistanssiksi voidaan laskea kaavalla 6

$$R = \frac{25 \text{ m} \cdot 0,0168 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}}{95 \cdot 10^{-6} \text{m}^2} = 0,0044 \Omega. \quad (11)$$

Häviöiden hinta saadaan kertomalla huipun käyttöaika sähkön hinnalla /5/.

Tämän jälkeen voidaan laskea kaavalla 7 kuparikaapelin aiheuttama vuotuinen häviökustannus, joksi saadaan

$$K_{h0} = \left( \frac{100 \cdot 10^3 \text{VA}}{400 \text{V}} \right)^2 * 0,0044 \Omega * 3000 \text{ t} * 3 * 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 123750 \text{ €}, \quad (12)$$

Alumiinikaapelin vuotuinen häviökustannus lasketaan samalla tavalla kuin kuparikaapelin. Aluksi lasketaan johtimen resistanssi, laskemiseen tarvittava alumiinin resistiivisyys on  $0,028 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m} / 7/$ .

Resistanssiksi saadaan

$$R = \frac{25 \text{ m} \cdot 0,028 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}}{150 \cdot 10^{-6} \text{m}^2} = 0,0046 \Omega \quad (13)$$

ja häviökustannukseksi

$$K_{h0} = \left( \frac{100 \cdot 10^3 \text{VA}}{400 \text{V}} \right)^2 * 0,0046 \Omega * 3000 \text{ t} * 3 * 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 129375 \text{ €}. \quad (14)$$

Vertailun vuoksi lasketaan myös  $185 \text{ mm}^2$  alumiinikaapelin häviökustannukset. Resistanssiksi saadaan

$$R = \frac{25 \text{ m} \cdot 0,028 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}}{185 \cdot 10^{-6} \text{m}^2} = 0,0037 \Omega \quad (15)$$

ja häviökustannukseksi

$$K_{h0} = \left( \frac{100 \cdot 10^3 \text{VA}}{400 \text{V}} \right)^2 * 0,0037 \Omega * 3000 \text{ t} * 3 * 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 101062,5 \text{ €}. \quad (16)$$

Hankintahintoja verrattaessa alumiinikaapeli on tässä tapauksessa halvempi ostaa kuin kuparikaapeli. Esimerkiksi MCMK 4 x 95/50 kuparikaapeli maksaa noin 79 €/m /9/. AMCMK 4 x 150/41 alumiinikaapeli maksaa noin 21 €/m, jos halutaan kasvattaa alumiinikaapelin poikkipintaa  $185 \text{ mm}^2$ , niin AMCMK 4 x 185/54 alumiinikaapeli maksaa noin 27 €/m /10/.

Kuparikaapelin 3 vuoden kokonaiskustannukset ovat  $123750 + 79 \text{ €} * 25\text{m} = 125725 \text{ €}$ .

$150 \text{ mm}^2$  alumiinikaapelin 3 vuoden kokonaiskustannukset ovat  $129375 \text{ €} + 21 \text{ €} * 25 \text{ m} = 129900 \text{ €}$ .

$185 \text{ mm}^2$  alumiinikaapelin 3 vuoden kokonaiskustannukset ovat  $101062,5 \text{ €} + 27 \text{ €} * 25 \text{ m} = 101737,5 \text{ €}$ .

Tämän esimerkkilaskelman perusteella 3 vuoden häviökustannusten perusteella  $95 \text{ mm}^2$  kuparikaapeli tulee halvemmaksi kuin  $150 \text{ mm}^2$  alumiinikaapeli. Halvin vaihtoehto on kuitenkin  $185 \text{ mm}^2$  alumiinikaapeli.

### 4.3 Suojajohtimen laskenta

Lasketaan suojajohtimen poikkipinta-ala, äärijohtimen poikkipinta-alan ollessa  $150 \text{ mm}^2$  Al. Sulakkeena käytetään gG-tyypin sulaketta jonka tulee toimia 5 sekunnissa. Suojajohtimena käytetään erillistä PVC-eristettyä kuparijohdinta.

Poikkipinta-ala voidaan laskea joko taulukon 19 avulla, tai kaavojen 8 ja 9 avulla.

Lasketaan ensin poikkipinta taulukon 19 avulla. Äärijohtimen olleessa eri materiaalia kuin suojajohdin ja pinta-alan ollessa enemmän kuin  $35 \text{ mm}^2$  kuparia ja lasketaan poikkipinta taulukon 18 mukaisesti kaavalla

$$\frac{k_1}{k_2} * \frac{S}{2}. \quad (17)$$

Kerroin  $k_1$  saadaan taulukosta 19, joka on 76, taulukosta 20 saadaan kerroin  $k_2$  kuparijohtimelle, joka on 143. Suojajohtimen poikkipinta-alaksi saadaan täten

$$\frac{76}{143} * \frac{150 \text{ mm}^2}{2} = 39,8 \text{ mm}^2. \quad (18)$$

Suojajohtimen poikkipinnaksi valitaan seuraava vakio johdin koko, tässä tapauksessa 50 mm<sup>2</sup>.

Toinen tapa, on ensin laskea kertoimen k arvo, kaavalla 9 ja tämän jälkeen poikkipinta-ala kaavalla 8.

Kertoimen laskemiseen tarvittavat parametrit löytyvät taulukoista 20 ja 25. Kertoimen k arvoksi saadaan

$$k = \sqrt{\frac{3,45 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}} (234,5^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C})}{17,241 \cdot 10^{-6}}} * \ln \frac{234,5^\circ\text{C} + 160^\circ\text{C}}{234,5^\circ\text{C} + 30^\circ\text{C}} \approx 142,7. \quad (19)$$

Poikkipinnan laskemiseen tarvitaan vielä, I = suojalaitteen kautta kulkevan vikavirran tehollisarvo, kun tapahtuu hyvin pieni-impedanssinen vika. Virta-arvo saadaan laskettua Thevenin teoreemalla oikosulkuvirrasta, laskelmaan otetaan mukaan kaikki syöttävät impedanssit, tunnetun oikosulkuvirran kohdan ja tarkastelukohdan välistä. Tässä esimerkissä oletetaan oikosulkuvirran arvoksi I = 210 A.

Tämän jälkeen pystytään laskemaan suojajohtimen poikkipinta-ala kaavan 8 avulla

$$S = \sqrt{\frac{210^2 * 5 \text{ s}}{142,7}} \approx 39,3 \text{ mm}^2. \quad (20)$$

Suojajohtimeksi valitaan seuraava vakiokoko, joka on 50 mm<sup>2</sup>.

## **5 NYKYINEN TOIMINTAMALLI**

Tällä hetkellä VEO Oy:llä ei ole kaapelimassalistojen rakentamiseen olemassa minkäänlaista apukeinoa. Kaapelimassalistat rakennetaan täysin manuaalisesti, tai käyttämällä vanhaa projektia apuna. Tarkasti kaapelimassalistoja laatiessa vesi-voimalaitoksen piirustuksista katsotaan komponentit ja kuinka monta metriä kaapelia tarvitaan niiden välille, sen jälkeen etsitään sopiva kaapeli ja laitetaan tiedot manuaalisesti Excel-taulukkoon.

Nykyisen toimintamallin ongelmana on se, että aina kaapelimassalistoja ei tule l tehtyä tarkasti, koska tekemisessä menee paljon aikaa.

## **6 UUSI TOIMINTAMALLI**

Tarkoituksena oli tutkia uusia menetelmiä kaapelimassalistojen tekemiseen ja tehdä Excel-työkalu myynnin avuksi, joka kaapeleiden pituudet antamalla tulostaa automaattisesti kaapelimassalistan oikeilla kaapeleilla.

### **6.1 Massalistojen vertailu**

Eri projektien massalistoja vertailtiin, jotta saataisiin selkeämpi kuva kaapeleista joita vesivoimalaitoksissa käytetään. Suomesta, Ruotsista ja Norjasta otettiin muutama projekti joita vertailemalla tehtiin listaus kaapeleista.

Suomen projekteista vertailtiin Portimokosken, Ruskeakosken, Keltin sekä Ahvenkosken vesivoimalaitosten kaapelimassalistoja.

Ruotsin projektissa käytettyjä kaapeleita saatiin Selsforsin vesivoimalaitoksen kaapelimassalistasta.

Norja projekteista vertailtiin Skargin, Storlivatnin, Vittingfossin sekä Berliforsin vesivoimalaitosten kaapelimassalistoja.

### **6.2 Excel-laskentatyökalu**

Tutkimusten tuloksena päädyttiin tekemään Excel-työkalu kaapelimassalistojen laskentaan. Excel-ohjelmaan päädyttiin, koska se on joka koneella ja sitä käytetään päivittäin.

Laskentatyökalun pohjana käytettiin VEO Oy:n sähköasemayksikölle tehtyä kaapelimassa työkalua. Lähtökohtana oli muokata työkalu sopimaan vesivoimaosaston vaatimuksia vastaavaksi. Melko pian kuitenkin selvisi, että vain pieni muokaus ei riitä ja koko ohjelma jouduttiin tekemään alusta.

Kaapeleiden laskenta toteutettiin Microsoft VBA (Visual Basic for Applications) -koodilla. Laskennassa hyödynnettiin Sähköasemayksikön laskentatyökalussa olutta VBA-koodia.

Eri maiden toteutuneiden projektien massalistoja vertailemalla saadut kaapelityypit listattiin taulukkoon, taulukossa 27 näkyy pieni osa ohjelmassa käytettävissä olevista kaapeleista.

**Taulukko 27.** Eri maiden kaapelityypit

MCMK 2x2.5+2.5	EKKJ 2x2.5+2.5	IFSI 2x2.5+2.5
MCMK 2x6+6	EKKJ 2x6+6	IFSI 2x6+6
MCMK 3x2.5+2.5	EKKJ 3x2.5+2.5	IFSI 3x2.5+2.5
MCMK 4x2.5+2.5	EKKJ 4x2.5+2.5	IFSI 4x2.5+2.5
MCMK 4x6+6	EKKJ 4x6+6	IFSI 4x6+6
MCMK 7x2.5+2.5	EKKJ 7x2.5+2.5	IFSI 7x2.5+2.5
MCMO 12x2.5	EKRF 12x2.5	PFSP 12x2.5
MCMO 19x1.5	EKRF 19x1.5	PFSP 19x1.5
MCMO 19x2.5	EKRF 19x2.5	PFSP 19x2.5
MCMO 7x2.5	EKRF 7x2.5	PFSP 7x2.5

Tämän jälkeen tehtiin eri välilehdet Suomelle, Ruotsille ja Norjalle, jonne saatiin listattua jokaiselle komponentille oikea kaapelityyppi ja kaapelimäärä. Eri maiden välilehdet ovat ulkoasultaan samanlaisia, vain kaapelityypit eroavat toisistaan. Kuvassa 1 Suomen komponentit välilehti, oikeat kaapelityypit valitaan avattavasta valikosta, paitsi moottorit joille oikea kaapelityyppi haetaan suoraan moottorikaapelivalinta välilehdestä tehon mukaan.

Station ☒  
 Generator ☒

Extract to worksheet

### Components

<b>STATION</b>			
Open DC system 150Ah			
Open DC system 200Ah			
Open DC system 300Ah			
Closed DC system	Feeders <input type="checkbox"/>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">           AHXAMK-W 3x95/35            AHXCMK 1x50  <b>AHXCMK 1x630</b>            AHXCMK 1x800            AHXCMK 3x240            AHXCMK 3x35            AHXCMK 3x50            AMCMK 4x25+10         </div>	
230 VAC UPS system		Feeders <input type="checkbox"/>	
Main LV switchgear		Feeders <input type="checkbox"/>	
Motor 400V 3-5,5 kW		MCMK 3x6+6	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 30-37 kW		MCMK 3x35+16	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	
Motor 400V 1,5-2,2 kW		MCMK 3x2,5+2,5	

**Kuva 1.** Komponentit välilehti

Seuraavaksi tehtiin laskentaohjelmalle välilehdet joihin kaapelipituudet syötetään. Alun perin tarkoituksena oli syöttää tiedot yhteen välilehteen, mutta komponenttien paikkojen määrän vuoksi päädyttiin käyttämään kahta välilehteä, kuvan 2 mukainen välilehti laitoksen tiedoille sekä kuvan 3 mukainen välilehti generaattorin tiedoille.

Välilehdet suunniteltiin siten, että vain päätiedot ovat näkyvillä, kuvissa 2 ja 3 näkyviä, valintaruutuja painamalla saadaan lisää komponentteja.

Laitosvälilehdellä eri komponenttien määrä, esimerkiksi moottorit, kerrotaan Pcs-sarakkeessa, jos komponentteja on vain yksi, sarake jätetään tyhjäksi. Generaattoritaulukossa generaattoreiden määrä kerrotaan kuvassa 3 näkyvässä ”how many generators?” kohdassa.





[NEXT](#)

Components

Pcs:	From:	To: <input type="checkbox"/> More		
		Avarage	Open DC system 150Ah	230 VAC UPS system
	Open DC system 150Ah			
	Open DC system 200Ah			
	Open DC system 300Ah			
	Closed DC system      Feeders <input type="checkbox"/>			
	230 VAC UPS system      Feeders <input type="checkbox"/>			
	Main LV switchgear      Feeders <input type="checkbox"/>			
	Motors      Motors <input type="checkbox"/>			
	Generator      More <input type="checkbox"/>			
	Station transformer      More <input type="checkbox"/>			
	Voltage measurement			
	Busbar circuit breaker			
	Main HV switchgear			
	Incoming feeders			
	Generator      More <input type="checkbox"/>			
	Outgoing feeders			
	Voltage measurement			
	Busbar circuit breaker			
	Main Transformer			
	Main Transformer with Tap changer			

**Kuva 2.** Laitoksen kaapelipituuksien syöttö



Calculate

☐ Finland
 ☐ Sweden
 ☒ Norway

		To:	Average	Control Cabinets	Turbine Governor	AVR & Excitation system	Excitation Transformer
Pcs:	From:						
3	How many generators ?						
	Control Cabinets						
	Turbine Governor						
	AVR & Excitation system						
	Excitation Transformer						
	Emergency Control						
	Gen Connection Box <span style="float: right;">More <input type="checkbox"/></span>						
	Turbine Connection Box <span style="float: right;">More <input type="checkbox"/></span>						
	Main Valve						
	Intake gate						
	Draft tube gate						
	Gen. Neutral point Cabinet						
	Gen. VT						
	Gen. Neutralpoint CT / 2 core <span style="float: right;">More <input type="checkbox"/></span>						
	Gen. output CT / 2 core <span style="float: right;">More <input type="checkbox"/></span>						

**Kuva 3.** Generaattorien kaapelipituuksien syöttö

Välilehtiin syötetyt tiedot siirtyvät kuvassa 4 näkyvälle laskentavälilehdelle, josta VBA-koodi laskee, kuvassa 3 näkyvän Calculate-napin painamisen jälkeen, kaapeli massalistan, ja tulostaa kuvassa 5 näkyvän tulokset näkymän.

VEO	Components	
From:	Station <input checked="" type="checkbox"/> Generator <input checked="" type="checkbox"/>	To:
		Avarage      Open DC system 150Ah
<b>STATION</b>		
<b>Open DC system 150Ah</b>		
Open DC system 150Ah to Avarage		1
Open DC system 150Ah to 230 VAC UPS system		
Open DC system 150Ah to Main LV switchgear		
Open DC system 150Ah to Main MV switchgear		
Open DC system 150Ah to Main HV switchgear		
Open DC system 150Ah to Main Transformer		
Open DC system 150Ah to Main Transformer with Tap changer		
Open DC system 150Ah to Station Transformer 100 kVA		
Open DC system 150Ah to Station Transformer 150 kVA		
Open DC system 150Ah to Station Transformer 200 kVA		
Open DC system 150Ah to Station Transformer 300 kVA		
Open DC system 150Ah to Station Transformer 500 kVA		
Open DC system 150Ah to Control Cabinet MV		
Open DC system 150Ah to Control Cabinet HV		
Open DC system 150Ah to Station automation control cabinet		
Open DC system 150Ah to Spare		

#### Kuva 4. Laskenta Excel-välilehti

Calculated Cables			
Cable model:	Length: (m)	Cables (pcs):	Correction:
IFSI 3x6+6	200	4	
Total	200	4	

**Kuva 5.** Tulokset Excel-näkymä

Työkalulle tehtiin myös englanninkielinen käyttöohje, käyttöohje löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 1.

## 7 YHTEENVETO

Työn haasteena oli miten käsitellä kaapelimassalistoja siten, että kaikki työntekijät tekisivät sen samalla tavalla, sen takia yritimme saada tehtyä sellaisen Excel-ohjelman, että sitä tultaisiin käyttämään.

Alussa tarkoituksena oli vain muokata hieman jo olemassa olevaa työkalua, mutta melko varhaisessa vaiheessa selvisi, että työkalu onkin tehtävä melkein kokonaan uusiksi. Ohjelmaan jouduttiin täten tekemään paljon enemmän toimintoja kuin alun perin oli tarkoitus.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin paljon uutta informaatiota vesivoimalaitosten kaapelimassalistojen käsittelystä ja tekemisestä, sekä kaapelin mitoituksista. Työn ohessa syntyi myös Excel-ohjelma kaapelimassalistojen laskentaan, sekä englanninkielinen käyttöohjekirja tälle ohjelmalle, yrityksen sisäiseen käyttöön.

Itselleni opinnäytetyöstä sain paljon kokemusta Excel-laskentaohjelmasta, sekä kaapelinmitoituksesta, lisäksi sain laajan käsityksen siitä mitä kaikkea tulee ottaa huomioon vesivoimalaitoksien asennuksissa.

## LÄHTEET

/1/ VEO Oy, Vuosikertomus 2013

/2/ SFS-KÄSIKIRJA 600-1

/3/ Johdon mitoitusaihio, viitattu 18.3.2015

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1132057231100/1132058013949/1132059169522/1132065677938.html>

/4/ Energia-, teollisuus- ja talonrakennuskaapelit, viitattu 18.3.2015

[http://fi.prysmiangroup.com/en/business\\_markets/markets/ti/downloads/Energia\\_t\\_eollisuus\\_talonrakennuskaapelit.pdf](http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/ti/downloads/Energia_t_eollisuus_talonrakennuskaapelit.pdf)

/5/ Sorsa H.(2004) Diplomityö Sähköverkkoyhtiön keskijänniteverkon kehittämissuunnitelma, Lappeenranta

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30277/TMP.objres.80.pdf?sequence=1>

/6/ Giancoli D.(2009) [1984]. "25. Electric Currents and Resistance". In Jocelyn Phillips. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (4th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. p. 658. ISBN 0-13-149508-9.

/7/ Serway R.(1998). Principles of Physics (2nd ed.). Fort Worth, Texas; London: Saunders College Pub. p. 602. ISBN 0-03-020457-7.

/8/ Sähköbit, viitattu 15.4.2015

<http://www.sahkobit.fi/verkkokauppa/kuparivoimakkaapeli-mcmk-4x9550-500m-reka-kaapeli-p-14804.html>

/9/ Sähköbit, viitattu 15.4.2015

<http://www.sahkobit.fi/verkkokauppa/amcmk-4x15041500-ericsson-p-14948.html>

## **VEO QUATATION TOOL**

### **INSTRUCTION / DESCRIPTION**

**Table of contents**

VEO QUATATION TOOL .....	1
INSTRUCTION / DESCRIPTION .....	1
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	3
<b>2. PROGRAM USAGE</b> .....	4
<b>2.1 Station sheet</b> .....	4
2.1.1 From .....	4
2.1.2 To.....	5
2.1.3 Buttons .....	5
<b>2.2 Generator sheet</b> .....	5
2.2.1 From .....	6
2.2.2 To.....	6
2.2.3 Buttons .....	6
<b>2.3 Calculation sheet</b> .....	7
<b>2.4 Components Finland sheet</b> .....	7
2.4.1 Components list .....	8
2.4.2 Cables .....	8
2.4.3 Buttons .....	8
<b>2.5 Components Sweden and Norway sheets</b> .....	9
2.5.1 Components list .....	9
2.5.2 Cables .....	9
2.5.3 Buttons .....	9
<b>2.6 Cables</b> .....	10
2.6.1 Buttons .....	10
<b>2.7 Result</b> .....	11
2.7.1 <i>Buttons</i> .....	11
<b>3 EXAMPLE</b> .....	12
<i>Example:</i> .....	12
<i>Solution:</i> .....	12

## 1. Introduction

VEO quotation tool is an Excel based calculation program. The program is a tool that simplifies calculation and quotation.

The program consists of eight worksheets:

Worksheet "Station" is the sheet for Stations cable quantity.

Worksheet "Generator" is the sheet for generators cable quantity

Worksheet "Calculation" is the hidden calculation sheet

Worksheet "Components Finland" consists of components and cables of Finland

Worksheet "Components Sweden" consists of components and cables of Finland

Worksheet "Components Norway" consists of components and cables of Finland

Worksheet "Cables" consists of cable models from Finland, Sweden and Norway

Worksheet "Motor Cables" is help sheet for motor cables

Each worksheet and function will be explained more in detail later in the document.

The program compiles a result list from a component to a selected point and the cables and their length between the selected points.



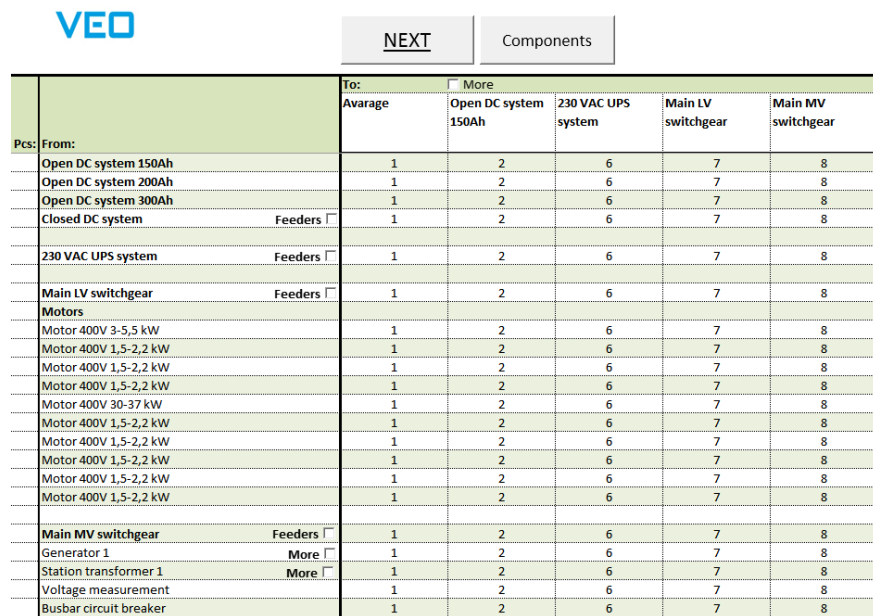
## 2. Program usage

### 2.1 Station sheet

Station sheet is the first main sheet in the program. The “Station” sheet is filled in with stations components and different categories which the component belongs to.

All components and their titles belong to a menu called **From**. The components under the From menu are configured with cables to each individual component. Most of the components are standard components.

The **To** menu is to which place the cables from the components will go.



		To: <input type="checkbox"/> More				
		Avarage	Open DC system 150Ah	230 VAC UPS system	Main LV switchgear	Main MV switchgear
Pcs:	From:					
	Open DC system 150Ah	1	2	6	7	8
	Open DC system 200Ah	1	2	6	7	8
	Open DC system 300Ah	1	2	6	7	8
	Closed DC system <input type="checkbox"/> Feeders	1	2	6	7	8
	230 VAC UPS system <input type="checkbox"/> Feeders	1	2	6	7	8
	Main LV switchgear <input type="checkbox"/> Feeders	1	2	6	7	8
	Motors					
	Motor 400V 3-5,5 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 30-37 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Motor 400V 1,5-2,2 kW	1	2	6	7	8
	Main MV switchgear <input type="checkbox"/> Feeders	1	2	6	7	8
	Generator 1 <input type="checkbox"/> More	1	2	6	7	8
	Station transformer 1 <input type="checkbox"/> More	1	2	6	7	8
	Voltage measurement	1	2	6	7	8
	Busbar circuit breaker	1	2	6	7	8

Figure 1. “Station” sheet

#### 2.1.1 From

The **From** menu is a special menu. Each component have or can have a cable model connected to it. Clicking checkboxes as seen in Figure 1 brings you more components. The configuration of the components can be done in “Components -> Components Finland”, components are the same to all countries, and cable configuration can be done in “Components -> Components Finland, Sweden or Norway”

When the program is filled in with a distance from a component and to an end address, it takes the cables that belongs to the components included in the calculation. It is not possible to change neither the component nor the titles in the **From**

list in the “start” sheet. The configuration for the components have to be done in *Options -> Components Finland*.

The component that belongs to its titles is presented in the result list under the same title.

### 2.1.2 To

The **To** menu is where the component goes.

### 2.1.3 Buttons

There are two buttons on the “station” sheet; one that says “NEXT” and one that says “Components”.

The **NEXT** button changes the generator sheet

The Components button opens a window where it is five buttons; Components Finland, Components Sweden, Components Norway, Cables and exit.

The **Component Finland** button navigates you to the Finland component sheet.

The **Component Sweden** button navigates you to the Sweden component sheet.

The **Component Norway** button navigates you to the Norway component sheet.

The **Cables** button navigates you to the cable sheet.

The **Exit** button closes the window.

## 2.2 Generator sheet

Generator sheet is the second main sheet in the program. The “generator” sheet is filled in with generators components and different categories which the component belongs to.

All components and their titles belong to a menu called **From**. The components under the From menu are configured with cables to each individual component. *(How to configure the cables, read chapter: 2.2 Components!)* Most of the components are standard components.

The **To** menu is to which place the cables from the components will go.

### 2.2.1 From

The **From** menu is a special menu. Each component have or can have a cable model connected to it. The configuration of the components can be done in “Components -> Components Finland”, components are the same to all countries, and cable configuration can be done in “Components -> Components Finland, Sweden or Norway”

When the program is filled in with a distance from a component and to an end address, it takes the cables that belongs to the components included in the calculation. It is not possible to change neither the component nor the titles in the **From** list in the “start” sheet. The configuration for the components have to be done in *Options -> Components Finland*.

The component that belongs to its titles is presented in the result list under the same title.

### 2.2.2 To

The **To** menu is where the component goes.

### 2.2.3 Buttons

There are five buttons on the “generator” sheet; one that says “Calculate”, one that says “Components” and three option buttons Finland, Sweden and Norway.

The **Calculate** button calculates and compiles a result sheet of what has been filled in, in the station and generator sheets

The Components button opens a window where it is five buttons; Components Finland, Components Sweden, Components Norway, Cables and exit.

The **Component Finland** button navigates you to the Finland component sheet.

The **Component Sweden** button navigates you to the Sweden component sheet.

The **Component Norway** button navigates you to the Norway component sheet.

The **Cables** button navigates you to the cable sheet.

The **Exit** button closes the window.

Three option buttons Finland, Sweden and Norway determine in which country's cables result sheet is compiled.

## 2.3 Calculation sheet

Calculation sheet is the hidden sheet in the program. The Station and Generator sheets fill the calculation sheet. Any length you put on station or generator sheet will appear in Calculation sheet in the right place, and code will calculate right cable lengths from the calculation sheet.

## 2.4 Components Finland sheet

In the worksheet "Components Finland" is the components and cables configuration "window" for Finnish cables. In row 2, column A and down are all the components and titles. In row 2, column B to row 2000, column AE are all the cables that the component are configured with.

Each row has its component in column A and the cables that belong to the component are filled in from the dropdown list in columns (B - AE).

Each column equals one cable. If a component needs two cables of the same model, the cable model needs to be entered twice in different cells, and so on. Always use the same row as the component when the cables are filled in (Figure 2).

Station ☒  
 Generator ☒

Extract to worksheet    [Home](#)

Components					
<b>STATION</b>					
Open DC system 150Ah	Cables <input type="checkbox"/>				
Open DC system 200Ah	Cables <input checked="" type="checkbox"/>				
Open DC system 200Ah to Avarage		MKEM 1x16 Mu			
Open DC system 200Ah to 230 VAC UPS system					
Open DC system 200Ah to Main LV switchgear					
Open DC system 200Ah to Main MV switchgear					
Open DC system 200Ah to Main HV switchgear					
Open DC system 200Ah to Main Transformer					
Open DC system 200Ah to Main Transformer with Tap changer					
Open DC system 200Ah to Station Transformer					
Open DC system 200Ah to Station Transformer 100 kVA					
Open DC system 200Ah to Station Transformer 150 kVA					
Open DC system 200Ah to Station Transformer 200 kVA					
Open DC system 200Ah to Station Transformer 300 kVA					
Open DC system 200Ah to Station Transformer 500 kVA					
Open DC system 200Ah to Control Cabinet HV					
Open DC system 200Ah to Station automation control cabinet					
Open DC system 200Ah to Spare					
Open DC system 300Ah	Cables <input type="checkbox"/>				
Closed DC system	Cables <input type="checkbox"/>				
Outgoing feeders 10 A	Cables <input type="checkbox"/>				
Outgoing feeders 16 A	Cables <input type="checkbox"/>				
Outgoing feeders 25 A	Cables <input type="checkbox"/>				
Outgoing feeders 35 A	Cables <input type="checkbox"/>				
Outgoing feeders 63 A	Cables <input type="checkbox"/>				
Outgoing feeders 125 A	Cables <input type="checkbox"/>				
230 VAC UPS system	Cables <input type="checkbox"/>				

Figure 2. "Components Finland" sheet

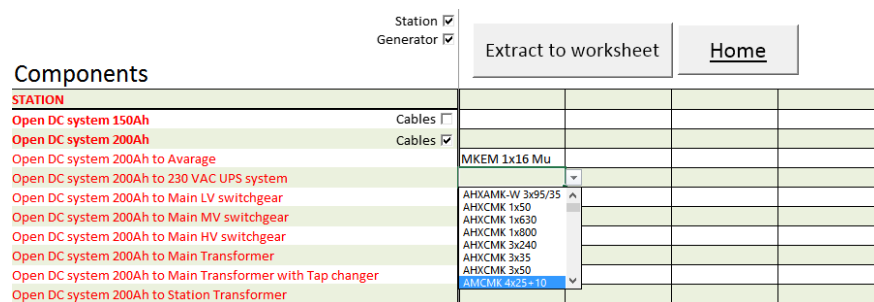
### 2.4.1 Components list

In column A under the title “Components” are all the components and titles. Column A is secured and you can’t add more rows to the sheet, but you can modify the name of the component, modified name will also appear to “Component Sweden” and “Components Norway” sheets. Clicking a checkbox brings you all cable variations to the specific component.

### 2.4.2 Cables

From cell (B2-AE202) are all the cables. All the cells in the area B2-AE2000 is dropdown lists with cables. To insert a cable, click the cell and the dropdown list appears. Then, click down to the cable you want to use with the component on the same row (Figure 3).

If the cables does not exist in the list, then go to cables and write in the cable.



**Figure 3.** Dropdown lists to select cables.

### 2.4.3 Buttons

There is two buttons on the Components Finland sheet; the “Extract to worksheet” button and the “Home” button.

The **Extract to worksheet** button sends over all the information from the components sheet to the start sheet. If any changes are done in the component sheet, press the “extract to worksheet” button, otherwise will not the program work correctly.

The **Home** button returns you to the station sheet without making any changes.

## 2.5 Components Sweden and Norway sheets

In the worksheet "Components Sweden" is the cable configuration "window" for Swedish cables and worksheet "Components Norway" is the cable configuration for Norge cables. In row 2, column A and down are all the components and titles. In row 2, column B to row 2000, column AE are all the cables that the component are configured with.

Each row has its component in column A and the cables that belong to the component are filled in from the dropdown list in columns (B - AE).

Each column equals one cable. If a component needs two cables of the same model, the cable model needs to be entered twice in different cells, and so on. Always use the same row as the component when the cables are filled in, as well as Components Finland.

### 2.5.1 Components list

In column A under the title "Components" are all the components and titles. Column A is secured and you can't add more rows to the sheet. Clicking a checkbox brings you all cable variations to that specific component.

### 2.5.2 Cables

From cell (B2-AE202) are all the cables. All the cells in the area B2-AE2000 is dropdown lists with cables. To insert a cable, click the cell and the dropdown list appears. Then, click down to the cable you want to use with the component on the same row, as well as Components Finland.

If the cables does not exist in the list, then go to cables and write in the cable.

### 2.5.3 Buttons

There is only one button on the Components Sweden and Norway sheet the "Home" button.

The **Home** button returns you to the station sheet without making any changes.

## 2.6 Cables

The sheet named “cables” consists of three lists of cables Finnish, Swedish and Norge. All the cable found in this list appear in the dropdown lists in Components sheets.

### 2.6.1 Buttons

There is only one button on the sheet cables and that is the Home button.

The **Home** button return you to the start sheet.

Models:	Finland	Sweden	Norway			
	No Cable	No Cable	No Cable			
	AHXAMK-W 3x95/35	1x35	BFOU (i) 2x(2+0,75)x0,75			
	AHXCMK 1x50	AHXAMK-W 3x95/35	BFOU 12x1,5			
	AHXCMK 1x630	AHXCMK 1x50	BFOU 2x1,5			
	AHXCMK 1x800	AHXCMK 1x630	BFOU 2x2,5			
	AHXCMK 3x240	AHXCMK 1x800	BFOU 3x10			
	AHXCMK 3x35	AHXCMK 3x240	BFOU 4x1,5			
	AHXCMK 3x50	AHXCMK 3x30	BFOU 7x1,5			
	AMCMK 4x25+10	AHXCMK 3x50	BFOU 7x2,5			
	AXMK-Plus 4G150	AMCMK 4x25+10	IFSI 12x1,5			
	AXMK-Plus 4G50	AXMK-Plus 4G150	IFSI 19x1,5			
	BFOU (i) 2x(2+0,75)x0,75	AXMK-Plus 4G50	IFSI 2x(3x120+70)			
	BFOU 12x1,5	BFOU (i) 2x(2+0,75)x0,75	IFSI 2x(3x120+70)			
	BFOU 2x1,5	BFOU 12x1,5	IFSI 2x(3x185+95)			
	BFOU 2x2,5	BFOU 2x1,5	IFSI 2x(3x185+95)			
	BFOU 3x10	BFOU 2x2,5	IFSI 2x1,5+1,5			
	BFOU 4x1,5	BFOU 3x10	IFSI 2x10			
	BFOU 7x1,5	BFOU 4x1,5	IFSI 2x2,5+2,5			
	BFOU 7x2,5	BFOU 7x1,5	IFSI 2x6+6			
	HXCMK 1x35+16Cu	BFOU 7x2,5	IFSI 3x(3x185+95)			
	MCMK 2x1,5+1,5	EKK 2x2,5	IFSI 3x1,5+1,5			
	MCMK 2x10	EKK 3x1,5	IFSI 3x10+10			
	MCMK 2x2,5+2,5	EKK 3x2,5	IFSI 3x120+70			
	MCMK 2x2,5+2,5	EKK 3x6	IFSI 3x16+16			
	MCMK 2x6+6	EKK 5x1,5	IFSI 3x185+95			
	MCMK 2x6+6	EKK 5x2,5 S	IFSI 3x2,5+2,5			
	MCMK 3x1,5+1,5	EKK5x2,5	IFSI 3x25+25			
	MCMK 3x10+10	EKKJ 2x1,5+1,5	IFSI 3x35+16			
	MCMK 3x2,5+2,5	EKKJ 2x10	IFSI 3x35+35			
	MCMK 3x2,5+2,5	EKKJ 2x2,5+2,5	IFSI 3x6+6			
	MCMK 3x25+25	EKKJ 2x2,5+2,5	IFSI 3x70+35			
	MCMK 3x35+35	EKKJ 2x6+6	IFSI 4G150 AL			
	MCMK 3x6+6	EKKJ 2x6+6	IFSI 4G50 AL			
	MCMK 4x1,5+1,5	EKKJ 3x1,5+1,5	IFSI 4x(3x185+95)			
	MCMK 4x2,5+2,5	EKKJ 3x10+10	IFSI 4x(3x240+120)			

Figure 4. Cables





### 3 Example

*Example:*

I have a 4 5 kW motors, which will go to the station, and I want to put their average length and I want Norwegian cables. The name of the place that the cables will go to is **Average**. The Average distance between the 5kW motor and CB1 is 50 meters.

*Solution:*

**VEO**

**NEXT** Components

From:		To:	More
		Average	Open DC system 150Ah
Pcs:	Open DC system 150Ah		
	Open DC system 200Ah		
	Open DC system 300Ah		
	Closed DC system Feeder <input type="checkbox"/>		
	230 VAC UPS system Feeder <input type="checkbox"/>		
	Main LV switchgear Feeder <input type="checkbox"/>		
	Motors		
4	Motor 400V 3-5,5 kW	50	
	Motor 400V 7,5-15 kW		
	Motor 400V 18,5-22 kW		
	Motor 400V 30-37 kW		
	Motor 400V 45 kW		
	Motor 400V 55-75 kW		
	Motor 400V 90-110 kW		
	Motor 400V 1,5-2,2 kW		
	Motor 400V 1,5-2,2 kW		
	Motor 400V 1,5-2,2 kW		
	Motor 400V 1,5-2,2 kW		

**Figure 6.** Station sheet

Component is in the list on the left side can we write the length From component To Average in our case 50 meters.

1. Choose right type motor from the dropdown list. (Figure 6)
2. Choose how many motors is (Figure 6).
3. Check which column the Average is in.
4. Write the length 50 meter in the cell that have column letter of Average and Row number of Motor 400 V 3-5,5 kW. In this example cell(C38).

Then after the length is filled in, we can press the next button and the program goes to the Generator sheet (Figure 7).

[illegible]

**Figure 7. Generator sheet**

If you don't have anything to put on the generator sheet, press Norway option button, and then calculate button and the program makes a result sheet (Figure 8).

[illegible]

**Figure 8. Result sheet**